

## Beschreibung

Verfahren zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Anlage zur Ausführung eines industriellen Prozesses

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Anlage zur Ausführung eines industriellen Prozesses.

- 10 Eine Leistungserhöhung einer Anlage zur Ausführung eines industriellen Prozesses um wenige Prozentpunkte führt in der Regel zu einer überproportional hohen Steigerung des Ertrages für den Betreiber der Anlage. Beispielsweise kann es sich bei einem solchen industriellen Prozesses um einen Prozess mit
- 15 durchlaufenden Warenbahnen wie bei der Herstellung von Papier, Textilien, Kunststoff- oder Metallfolien handeln. Bei solchen Prozesses wird die Leistungsfähigkeit des Prozesses durch die Geschwindigkeit der Warenbahn, z.B. gemessen in Metern pro Sekunde, bestimmt.

20

- Wenn ein Maschinenteil für eine in der Anlage enthaltene Maschine oder ein komplettes Anlagenteil für eine solche Anlage ausgelegt wird, erfolgt dies meistens auf der Basis ähnlicher Maschinen oder Anlagenteile unter Berücksichtigung einiger
- 25 Leistungsreserven. Unter den in der Anlage vorliegenden Betriebsbedingungen sind die Belastungen der Maschine oder des Anlagenteils allerdings meist unterschiedlich zu den in den bisher bekannten, ähnlichen Anlagen. Es ist somit nicht möglich, eine sichere Aussage darüber zu treffen, welche Leistungserhöhung in der Anlage möglich ist, ohne ein oder mehrere
- 30 Teile der Anlage zu überlasten.

- Bisher entbehren Maßnahmen zur Leistungserhöhung in solchen Anlagen, insbesondere in komplexen Anlagen wie z.B. Anlagen
- 35 zur Ausführung kontinuierlicher Prozesse zur Herstellung von Warenbahnen, zudem in der Regel einer langfristigen Nachhaltigkeit.

Es ist deshalb Aufgabe vorliegender Erfindung, ein Verfahren anzugeben, welches eine nachhaltige und wirtschaftliche Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Anlage ermöglicht.

5

Die Lösung dieser Aufgabe gelingt erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind jeweils Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 9.

10

Die Erfindung geht hierbei von der Erkenntnis aus, dass bisherige Maßnahmen zur Leistungserhöhung in den Anlagen immer nur auf punktuellen Betrachtungen der Anlage beruhten und deshalb in der Regel einer langfristigen Nachhaltigkeit entbehrten. Aufgrund der erfindungsgemäß vorgesehene Ermittlung der für die Leistungsfähigkeit der Anlage relevanten Prozessgrößen und deren Erfassung bei wechselnden Betriebsbedingungen ist eine umfassende Berücksichtigung der die Leistung der Anlage begrenzenden Einflussfaktoren gewährleistet. Unter  
15 wechselnden Betriebsbedingungen werden hierbei die im regulären Betrieb der Anlage vorkommender Betriebsbedingungen, d.h. z.B. im Fall einer Papiermaschine der Betrieb der Maschine bei Papier unterschiedlicher Qualitäten und Sorten, verstanden. Es wird somit vermieden, dass nur punktuell einige Aspekte der Anlage, wie z.B. das Antriebssystem, unter einigen  
25 speziellen Betriebsbedingungen betrachtet werden, dagegen andere für die Leistungsfähigkeit maßgebende Faktoren und Betriebsbedingungen aber nicht berücksichtigt werden. Als Ergebnis ist hierdurch nicht nur eine kurzfristige, sondern eine  
30 ne nachhaltige Erhöhung der Leistungsfähigkeit möglich.

Die geringste Regelreserve der Regelkreise bestimmt die ohne weitere Maßnahmen erreichbare Leistungserhöhung. Es ist somit gewährleistet, dass zuerst die Erschließung der vorhandenen  
35 Leistungsreserven überprüft und diese Reserven gegebenenfalls erschlossen werden. Dies stellt die unter wirtschaftlichen

Gesichtspunkten am günstigsten erreichbare Leistungserhöhung dar.

Falls mit zusätzlichen Maßnahmen eine über die vorhandene  
5 Leistungsreserve hinausgehende Leistungserhöhung angestrebt  
wird, kann dies dadurch erfolgen, dass eine angestrebte Leistungserhöhung der Anlage definiert wird, die für die angestrebte Leistungserhöhung notwendigen Regelreserven in den Regelkreisen der Anlage bestimmt werden und die Regelkreise  
10 mit einer für die angestrebte Leistungserhöhung zu geringen Regelreserve ermittelt werden.

Aus der Anzahl der Regelkreise mit zu geringer Regelreserve ist bereits ersichtlich, welcher Aufwand für weitere Untersuchungen und möglicherweise auch für die Implementierung von  
15 Maßnahmen zur Leistungserhöhung notwendig sein wird. Bei einer hohen Anzahl von Regelkreisen kann u.U. entschieden werden, eine geringere Leistungserhöhung zu definieren, so dass nur für die entsprechend geringere Anzahl von Regelkreisen  
20 die weitere Untersuchungen notwendig sind.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt in weiteren Schritten ein technisches und/oder technologisches Untersuchen der Regelkreise mit zu geringer Regelreserve und ein Erarbeiten von Maßnahmen zur Herstellung der  
25 jeweilig benötigten Regelreserven durch Entlastung der jeweiligen Regelkreise und/oder durch Ersetzen von Komponenten in den jeweiligen Regelkreisen durch leistungsfähigere Komponenten.

30 Diese Maßnahmen können abschließend technisch und/oder betriebswirtschaftlich bewertet werden. Anhand dieser Bewertung kann der Entscheidungsprozess für die Implementierung der Verbesserungsmaßnahmen vereinfacht und eine unter Kosten/Nutzen-Gesichtspunkten optimale Lösung für den Betreiber  
35 der Anlage gefunden werden.

Insgesamt stellt die Abfolge der vorgenannten Schritte sicher, dass die Punkte vorrangig behandelt werden, bei denen das höchste Verbesserungspotential besteht bzw. die Wirtschaftlichkeit einer Umsetzung am höchsten ist. Zugleich erlaubt diese Vorgehen die wirtschaftliche Erschließung vorhandener Leistungsreserven auch bei hoher Komplexität einer Anlage.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders vorteilhaft zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit bei einer Anlage zur Ausführung eines kontinuierlichen Prozesses, insbesondere eines Prozesses zu Herstellung von durchlaufenden Warenbahnen, z.B. Papier, Textilien, Kunststoff- oder Metallfolien, deren Leistungsfähigkeit durch die Geschwindigkeit der Warenbahn bestimmt wird.

Die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gemäß den Merkmalen der Unteransprüche werden im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen in den Figuren näher erläutert. Darin zeigen:

- FIG 1 eine Erfassung von Prozessgrößen bei einer Anlage zur Papierherstellung,
- 25 FIG 2 eine Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrensablaufes anhand eines Ablaufdiagramms,
- FIG 3 eine prinzipielle Darstellung zur Ermittlung der für die Leistungsfähigkeit einer Anlage relevanten Prozessgrößen,
- 30 FIG 4 eine Darstellung der relevanten Prozessgrößen bei einer Papiermaschine,
- 35 FIG 5 ein Maschinengeschwindigkeit/Drehmoment-Diagramm für die Bestimmung der Regelreserve bei einem Antriebsmotor und

FIG 6 eine Bestimmung der Regelreserve bei dem Antriebsmotor der FIG 5.

5 Die FIG 1 zeigt eine Anlage 1 zur Herstellung von Papier. Die Anlage 1 umfasst verschiedenste Anlagenteile, die für die verschiedenen Schritte im Herstellungsprozess für Papier benötigt werden, so z.B. eine Stoffaufbereitung 1a, eine Papiermaschine 1b, Umroller/Kalander 1c, Rollenschneider 1d und  
10 Querschneider 1e. Das Papier durchläuft als Warenbahn 8 wesentliche Teile der Anlage 1.

Die Anlage 1 weist für den Antrieb, die Stromversorgung und der Steuerung bzw. Regelung der verschiedenen Komponenten im  
15 Herstellungsprozess eine Vielzahl von Antriebskomponenten 11, Automatisierungskomponenten 12 und Energieversorgungskomponenten 13 auf.

Eine Vorrichtung 2 dient zur Ermittlung der Regelreserven in  
20 der Anlage 1. Die Vorrichtung 2 weist eine Erfassungseinheit 3, eine Auswerteeinheit 4, eine Eingabeeinheit 7 und eine Ausgabeeinheit 5 auf.

Die Erfassungseinheit 3 dient zur Erfassung von Prozessgrößen  
25 Pl...P10 des Papierherstellungsprozesses auf der Anlage 1. Dabei kann es sich z.B. um Messsignale handeln, die mit Hilfe von in der Anlage 1 bereits vorhandenen und/oder vorzusehenden Signalgebern erfasst werden.

30 Die Prozessgrößen können aus verschiedensten Quellen des Prozesses stammen und in beliebiger, auch unterschiedlicher Form, z.B. analog, binär, numerisch und/oder als veränderliche physikalische Größe vorliegen. Die Auswerteeinheit 4 dient zur Bestimmung der Regelreserven in den Regelkreisen  
35 der Anlage 1. Hierzu sind in einem Speicher der Auswerteeinheit 4 eine große Anzahl von Leistungskennlinien für eine Vielzahl von in Anlagen vorkommenden Komponenten, insbesondere

re von Standardkomponenten, hinterlegt. Mit Hilfe der Ausgabeeinheit 5 können die Regelreserven zur Anzeige gebracht werden. Ferner weist die Vorrichtung 2 eine Eingabeeinheit 7 zur Eingabe einer angestrebten Leistungserhöhung in der Anlage 1 auf.

In FIG 2 wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand eines Ablaufdiagramms erläutert. Das Verfahren wird vorteilhafterweise von einem Dienstleistungsanbieter durchgeführt, der entsprechendes Know-How und technische Möglichkeiten zu dessen Durchführung aufweist.

In einem ersten Schritt 31 werden - wie im Detail in FIG 3 und 4 erläutert - die für die Leistungsfähigkeit der Anlage relevanten Prozessgrößen ermittelt. In einem zweiten Schritt 32 werden diese Prozessgrößen unter wechselnden Betriebsbedingungen der Anlage erfasst und in einem dritten Schritt 33 - wie beispielhaft in FIG 5 und 6 erläutert - eine geringste Regelreserve der Regelkreise der Anlage anhand der erfassten Prozessgrößen ermittelt. Diese Regelreserve kann zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Anlage ohne nennenswerten Investitionsaufwand genutzt werden. In einem Schritt 33a wird deshalb geprüft, ob eine über diese geringste Regelreserve hinausgehende Leistungserhöhung gewünscht ist. Ist dies nicht der Fall, kann in einem Verfahrensschritt 39b durch Erschließung der vorhandenen Leistungsreserven das Verfahren beendet werden.

Falls eine darüber hinaus gehende Leistungserhöhung in der Anlage gewünscht ist, kann in einem weiteren Verfahrensschritt 34 eine solche angestrebten Leistungserhöhung der Anlage definiert werden. In einem weiteren Verfahrensschritt 35 werden die für die angestrebte Leistungserhöhung notwendigen Regelreserven in den Regelkreisen der Anlage bestimmt und in einem weiteren Verfahrensschritt 36 die Regelkreise mit einer für die angestrebte Leistungserhöhung zu geringen Regelreserve ermittelt.

Für die Regelkreise mit zu geringer Regelreserve können in einem weiteren Verfahrensschritt 37 technische und/oder technologische Untersuchungen der Regelkreise durchgeführt und  
5 Maßnahmen zur Herstellung der jeweilig benötigten Regelreserven durch Entlastung der jeweiligen Regelkreise und/oder durch Ersetzen von Komponenten in den jeweiligen Regelkreisen durch leistungsfähigere Komponenten erarbeitet werden. In einem weiteren Verfahrensschritt 38 kann für diese Maßnahmen  
10 eine technische und/oder betriebswirtschaftlichen Bewertung erfolgen, auf Basis derer eine abschließende Implementierung der Maßnahmen im Verfahrensschritt 39a erfolgt.

Die für die Leistungsfähigkeit einer Anlage relevanten Prozessgrößen können dadurch auf einfache Weise festgestellt  
15 werden, dass im übertragenen Sinne die an sich aus der technischen Mechanik bekannte Methode des "Freischneidens" angewandt wird.

20 Hierzu wird in einem ersten Schritt eine die Leistungsfähigkeit der Anlage repräsentierende Prozessgröße ermittelt. Im Fall einer Anlage zur Papierherstellung handelt es sich z.B. um die Geschwindigkeit des Papiers in der Anlage.

25 In einem nächsten Schritt wird, wie prinzipiell in FIG 3 dargestellt, ein Kernprozess 6 der Anlage definiert und sämtliche Schnittstellen 21 - 25 des Kernprozesses 6 zu den ihn umgebenden Nebenprozessen 41 - 45 (z.B. Nebenprozessen zur Energie-, Wasser- und Druckluftversorgung) bestimmt und auf  
30 Wirkungszusammenhänge mit dieser repräsentierenden Prozessgröße untersucht. Dies kann durch messtechnisches Erfassen der physikalischen Effekte (z.B. Kräfte, Ströme, Felder, Durchflüsse, Drücke) an diesen Schnittstellen erfolgen. Die Messung dieser physikalischen Effekte bzw. Prozessgrößen kann  
35 durch bereits vorhandene und/oder zusätzlich vorzusehende Signalgeber erfolgen, die gegebenenfalls an den Schnittstellen angebracht werden müssen.

Findet sich an einer Schnittstelle ein Wirkungszusammenhang mit der repräsentierenden Prozessgröße, so liegt an dieser Schnittstelle eine für die Leistungsfähigkeit der Anlage relevante Prozessgröße vor und es wird für die Komponenten des Nebenprozesses eine genauere messtechnische Untersuchung zur Bestimmung der Regelreserven durchgeführt. Die Schnittstellen ohne Wirkungszusammenhang werden nicht weiter betrachtet und statt dessen die Schnittstellen enger um den Kernprozess gezogen bzw. in das Innere des Kernprozesses verlegt und an diesen neuen Schnittstellen auf einen Wirkungszusammenhang mit der repräsentierenden Prozessgröße untersucht. Auch hierbei werden Schnittstellen mit Wirkungszusammenhang mit der repräsentierenden Prozessgröße als relevante Prozessgrößen identifiziert, für die in weiteren Schritten genauere messtechnische Untersuchung zur Bestimmung der Regelreserven durchgeführt werden.

Durch ein solches systematisches, schrittweises "Engerziehen" der Schnittstellen von den Nebenprozessen bis hinein in den Kernprozess wird sichergestellt, dass nicht nur im Bereich des Kernprozesses sondern auch im Bereich der Nebenprozesse sämtliche für die Leistungsfähigkeit der Anlage relevanten Prozessgrößen ermittelt werden.

Im Fall einer Anlage zur Papierherstellung kann als Kernprozess z.B. der auf der Papiermaschine ablaufende Teilprozess definiert werden. Schnittstellen zu Nebenprozessen mit Wirkungszusammenhängen mit der Geschwindigkeit des durchlaufenden Papiers finden sich dann v.a. im Bereich der Material- und Energieflüsse, so z.B. bei der Zufuhr von Energie, Dampf, Wasser, Fasern, Chemikalien und Zuschlagstoffe sowie der Abfuhr von Wasser, Kondensat und Abwärme. Die relevanten Prozessgrößen im Bereich der Nebenprozesse sind somit in diesem Fall - wie in FIG 4 dargestellt - die Energiezufuhr 51 (z.B. gemessen als Leistung P), die Dampfzufuhr 52 (gemessen als Volumen pro Zeiteinheit), die Wasserzufuhr 53 (gemessen als



Volumen pro Zeiteinheit), die Faserzufuhr 54 (gemessen als Masse pro Zeiteinheit), die Chemikalienzufuhr 55 (gemessen als Masse pro Zeiteinheit), die Wasserabfuhr 56 (gemessen als Volumen pro Zeiteinheit), die Kondensatabfuhr 57 (gemessen als Volumen pro Zeiteinheit) und die Abwärmeabfuhr 58 (gemessen als Leistung P). Diese relevanten Prozessgrößen können nun unter wechselnden Betriebsbedingungen der Anlage, z.B. für verschiedene Qualitäten und Sorten von Papier, erfasst und - wie nachstehend erläutert - die Regelreserven in den Regelkreisen der Anlage zur Papierherstellung ermittelt werden.

Mit Hilfe von FIG 5 und FIG 6 soll eine vorteilhafte Vorgehensweise zur Bestimmung der Regelreserve bei einem Elektromotor zum Antrieb einer Papiermaschine der Anlage 1 gemäß FIG 1 erläutert werden. Die Vorgehensweise ist grundsätzlich auch auf die anderen Regelkreise der Anlage (z.B. Dampf, Vakuum, Beschichtung) anwendbar.

Bei einer bestimmten Geschwindigkeit  $v$  des Papiers in der Papiermaschine liegt eine bestimmte Last (Drehmoment)  $M$  am Elektromotor vor. Dieser Betriebspunkt definiert eine bestimmte Klasse  $K$  in der in FIG 4 dargestellten Geschwindigkeits/Last-Ebene  $v/M$ . Für jede Klasse  $K$  wird die Zeit (Verweildauer)  $T$  gezählt, in der der Motor in dieser Klasse betrieben wird und in einer Ebene senkrecht zur  $v/M$ -Ebene dargestellt. Es können somit die Klassen  $K$  mit den längsten Verweildauern ermittelt werden. Diese können anschließend angenähert durch einen linearen Zusammenhang zwischen Last  $M$  und Maschinengeschwindigkeit  $v$  beschrieben und durch eine Gerade  $G$  dargestellt werden. Grundsätzlich kann der Zusammenhang zwischen Last  $M$  und Maschinengeschwindigkeit  $v$  natürlich auch durch komplexere Funktionen beschrieben werden.

Das Diagramm der FIG 6 zeigt über der Geschwindigkeit  $v$  der Maschine das Drehmoment  $M$  des Motors, wobei diese beiden Parameter durch einen linearen Zusammenhang gemäß FIG 4, darge-

stellt durch die Gerade G, angenähert sind. Bei einem drehzahlgeregelten Antrieb ist die maximale Leistung eines Motors oder Umrichters (je nachdem, welche geringer ist) ein hyperbolische Kurve HK in der Geschwindigkeits/Last-Ebene  $v/M$ . Der  
5 Abstand RV dieser hyperbolischen Kurve HK zu der Gerade G ist ein Maß für die Regelreserve und somit für die maximal mögliche Geschwindigkeitserhöhung.

Im Fall der Bestimmung der Regelreserve z.B. bezüglich der  
10 Positionierung eines Vakuum- oder Dampf- Steuerventils, Geschwindigkeit und Last eines Hilfsantriebs, von Flüssigkeitsströme etc. kann die Maschinengeschwindigkeit statt über der Last auch über der Position des Ventils, der Geschwindigkeit des Hilfsantriebs oder dem Flüssigkeitsstrom aufgetragen, die  
15 Verweildauer bestimmt und der angenähert lineare oder komplexere Zusammenhang mit der Geschwindigkeit  $v$  bestimmt werden.

Die im Fall einer Anlage mit einem kontinuierlichen Produktionsprozess, z.B. einer Anlage zur Papierherstellung, zu betrachtenden Prozesse sind in der Regel nicht sehr dynamisch. Die dynamischen Anteile in den Prozessgrößen sind sogar für die Bestimmung der Regelreserven nicht in erster Linie interessant. Von größerem Interesse ist vielmehr das durchschnittlichen Langzeitverhalten der Prozessgrößen. Die Prozessgrößen werden deshalb bevorzugt gefiltert (ca. 2 s) und  
25 nur ca. alle 5s abgetastet.

Bevorzugt wird eine Online-Auswertung der erfassten Daten mit anschließender Datenkompression für eine nachfolgende Off-  
30 line-Auswertung der erfassten Daten durchgeführt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Anlage  
(1) zur Ausführung eines industriellen Prozesses mit folgen-  
5 den Schritten:
  - Ermitteln von für die Leistungsfähigkeit der Anlage (1) re-  
levanten Prozessgrößen (P1 ... P10),
  - Erfassen der Prozessgrößen (P1 ... P10) unter wechselnden  
Betriebsbedingungen der Anlage,
  - 10 - Bestimmen einer geringsten Regelreserve der Regelkreise der  
Anlage anhand der erfassten Prozessgrößen (P1 ... P10).
2. Verfahren nach Anspruch 1 mit den weiteren Schritten:
  - Definieren einer angestrebten Leistungserhöhung der Anlage,
  - 15 - Bestimmen der für die angestrebte Leistungserhöhung notwen-  
digen Regelreserven in den Regelkreisen der Anlage,
  - Ermitteln der Regelkreise mit einer für die angestrebte  
Leistungserhöhung zu geringen Regelreserve.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2 mit den weiteren Schritten:
  - technisches und/oder technologisches Untersuchen der Regel-  
kreise mit zu geringer Regelreserve und
  - Erarbeiten von Maßnahmen zur Herstellung der jeweilig benö-  
tigten Regelreserven durch Entlastung der jeweiligen Re-  
25 gelkreise und/oder durch Ersetzen von Komponenten in den  
jeweiligen Regelkreisen durch leistungsfähigere Kompo-  
nenten.
4. Verfahren nach Anspruch 3 mit dem weiteren Schritt:
  - 30 - Durchführen einer technischen und/oder betriebswirtschaft-  
lichen Bewertung der Maßnahmen.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für die Ermittlung der  
relevanten Prozessgrößen ein Kernprozess definiert und  
35 Schnittstellen des Kernprozesses mit ihn umgebenden Nebenpro-  
zessen auf einen Wirkungszusammenhang mit einer die Leis-

tungsfähigkeit der Anlage repräsentierenden Prozessgröße untersucht werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 wobei es sich bei der Anlage (1) um eine Anlage zur Ausführung eines kontinuierlichen Prozesses, insbesondere eines Prozesses zur Herstellung von durchlaufenden Warenbahnen (8), z.B. Papier, Textilien, Kunststoff- oder Metallfolien, handelt.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 6,  
wobei die Leistungsfähigkeit der Anlage durch die Geschwindigkeit der Warenbahn (8) bestimmt wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
wobei das Verfahren durch ein Dienstleistungsunternehmen durchgeführt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
20 wobei die Prozessgrößen bei ihrer Erfassung in etwa alle 2 Sekunden gefiltert und in etwa alle 5 Sekunden abgetastet werden.

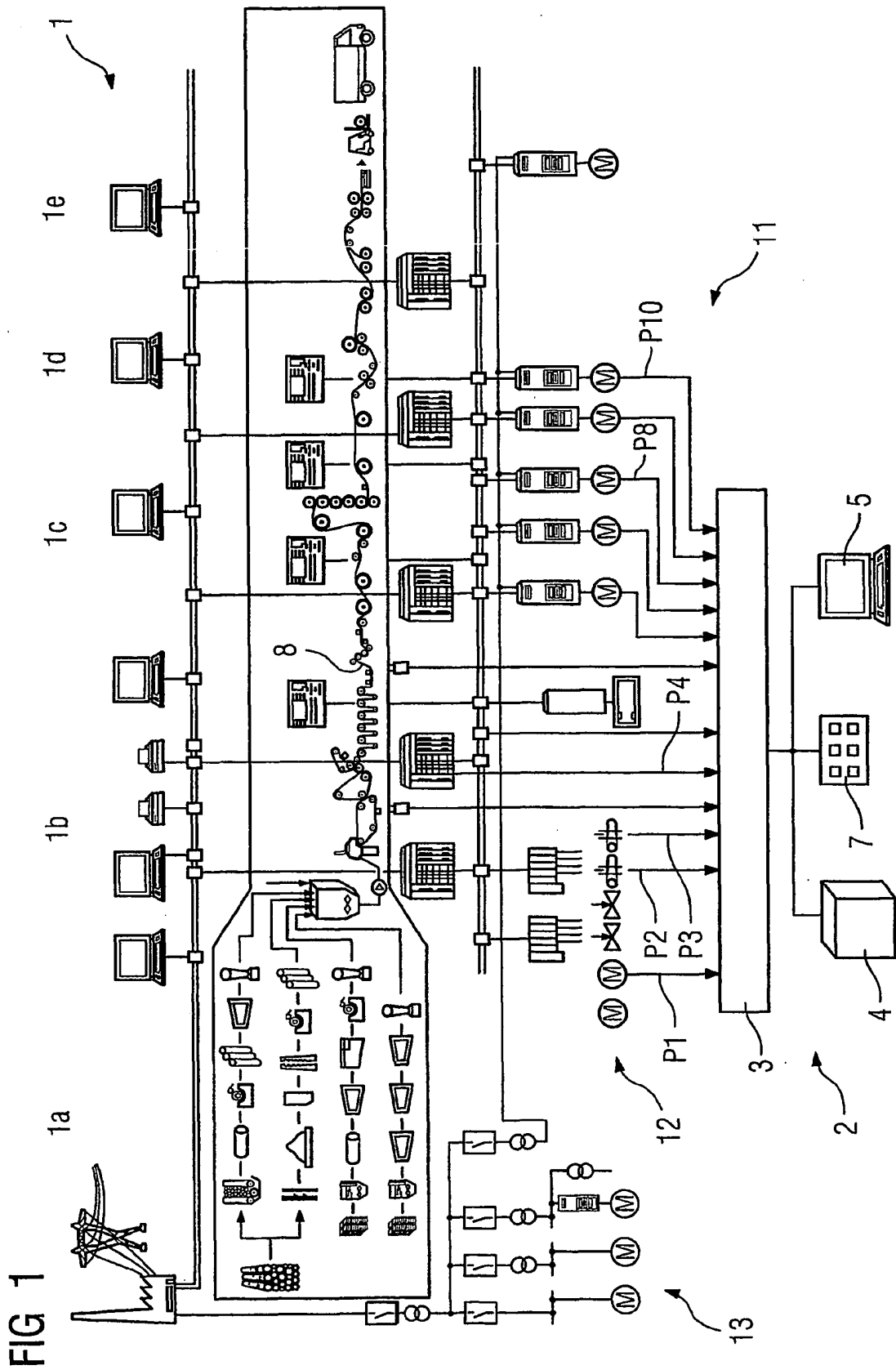


FIG 2

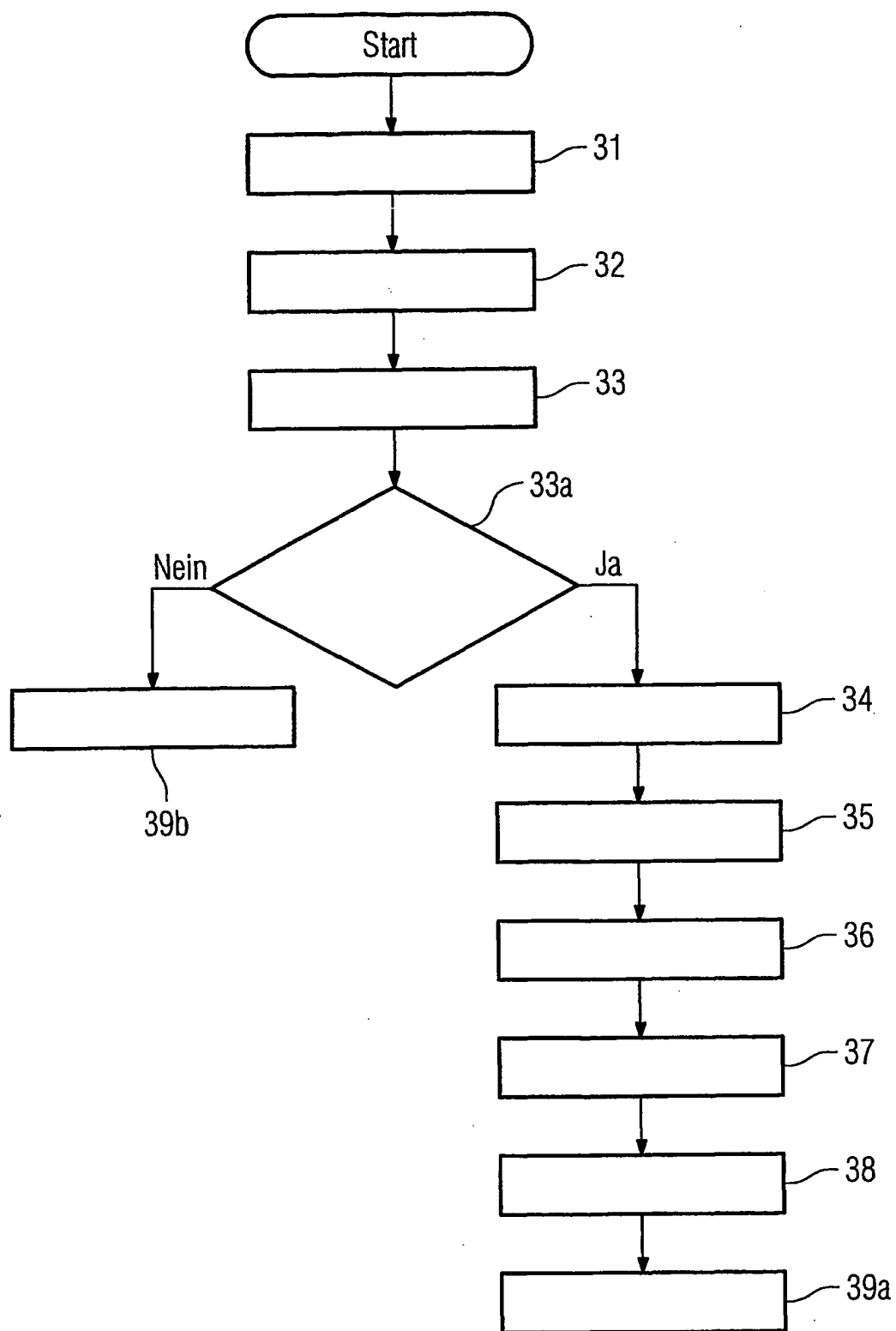


FIG 3

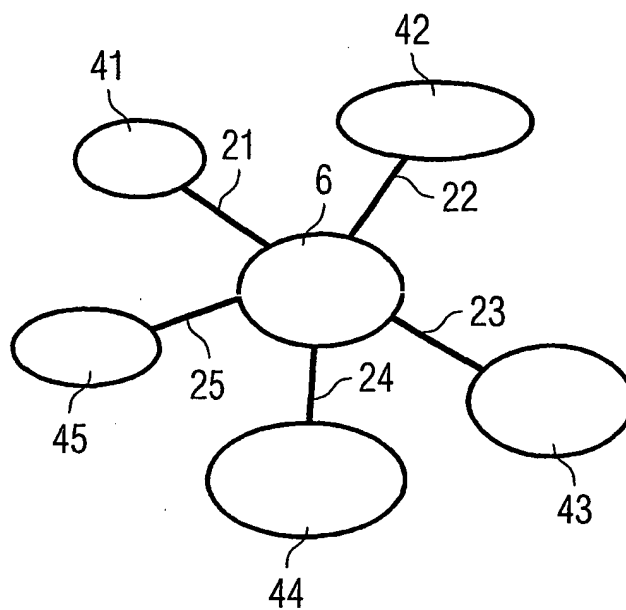


FIG 4

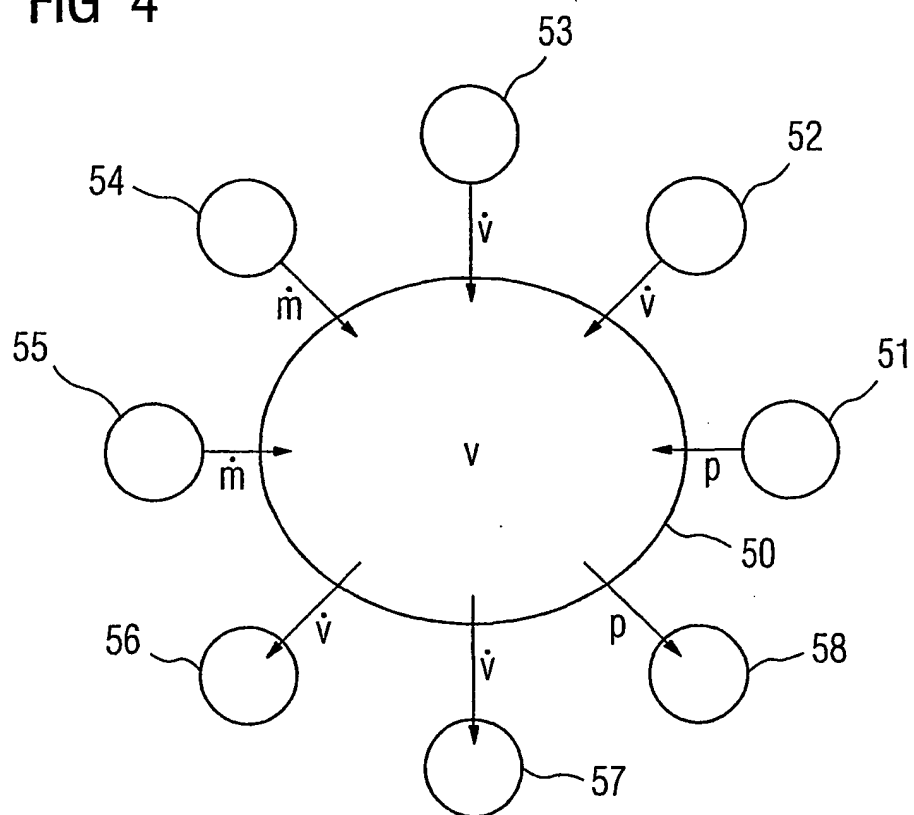


FIG 5

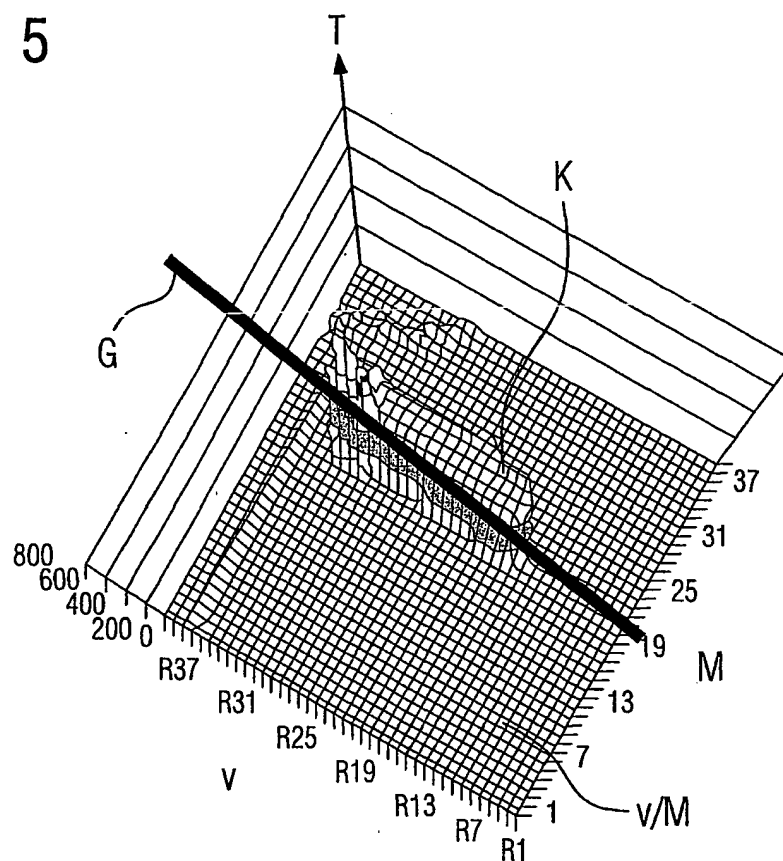


FIG 6

